

SVERIGE

(12) PATENTSKRIFT

(13) C2

(11) 514 223

(19) SE

(51) Internationell klass 7
G21K 1/06

PATENT- OCH REGISTRERINGSVERKET

(45) Patent meddelat 2001-01-22
 (41) Ansökan allmänt tillgänglig 2000-11-26
 (22) Patentansökan inkom 1999-07-19
 (24) Löpdag 1999-07-19
 (62) Stamansökans nummer
 (86) Internationell ingivningsdag
 (86) Ingivningsdag för ansökan om europeisk patent
 (83) Deposition av mikroorganism

(21) Patentansöknings-
nummer 9902750-0

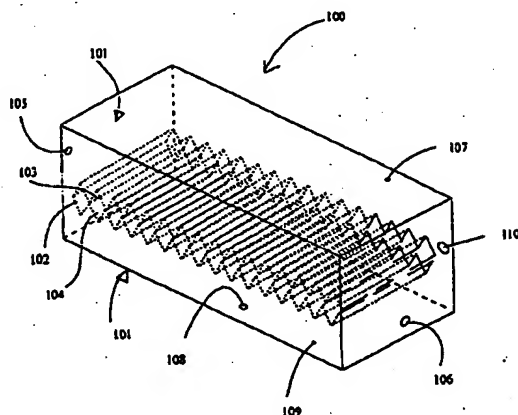
Ansökan inkommen som:

- ☒ svensk patentansökan
☐ fullföljd internationell patentansökan med nummer
☐ omvandlad europeisk patentansökan med nummer

(30) Prioritetsuppgifter
1999-05-25 SE 9901892-1

(73) PATENTHAVARE Mamea Imaging AB, Rös vägen 12 187 43 Täby SE
 (72) UPPFINNARE Björn Cederström, Stockholm SE
 (74) OMBUD Göteborgs Patentbyrå Dahls AB
 (54) BENÄMNING En brytande röntgenanordning
 (56) ANFÖRDA PUBLIKATIONER: - - -
 (57) SAMMANDRAG:

Föreliggande uppfinning hänförs till en brytande anordning för röntgenstrålar, och speciellt till en lins innefattande: en del av (101, 201, 301, 401) av låg-Z-material som har en första ände (105, 205, 305) för att uppta röntgenstrålar utsända av en röntgenkälla och en andra ände (106, 206, 306) från vilken röntgenstrålarna upptagna vid den första änden (105, 205, 305) kommer ut. Den innefattar vidare ett flertal väsentligen sågtandformade spår (103, 104) placerade mellan de första och andra ändarna (105, 205, 305; 106, 206, 306), vilka flertal spår är placerade så att röntgenstrålarna, som upptas av den första änden, passerar genom delen av låg-Z-material och sagda flertal av spår, och kommer ut från sagda andra ände, och bryts mot en brännpunkt.



BEST AVAILABLE COPY

5 TEKNIKOMRÅDE

Föreliggande uppfinning hänförs till röntgen och, speciellt till röntgenfokusering där en brytande röntgenanordning används. Den brytande anordningen för röntgenstrålar innefattar en del av låg-Z-material, vilken del av låg-Z-material har en första ände anordnad för att uppta röntgenstrålar utsända från en röntgenkälla och en andra ände från vilken sagda röntgenstrålar upptagna vid den första änden kommer ut. Uppfinningen avser även en lins och en metod för framställning av anordningen.

BAKGRUND TILL UPPFINNINGEN

Tillkomsten av tredje generationens synkrotonröntgenkällor, har fått intresset att växa för hård röntgenoptik med tillämpningar inom forskning, materialprovning, kemiska analyser och medicinsk visualisering och terapi. Kända fokuseringselement inom det här energiområdet använder metoder som reflektion och diffraktion, t ex brutna kristaller, bågformade speglar, övergångszonplattor och kapiläroptik. Dessa delar är vanligen dyra och tekniskt svåra att framställa, vilket begränsar deras användning i kommersiella tillämpningar.

20 KÄND TEKNIK

Det är välkänt att materialets brytningsindex kan uttryckas genom

$$n = 1 - \delta - i\beta \quad (1)$$

25 Brytningslinser för användning i det synliga ljusområdet kan enkelt tillverkas, då material som har ett brytningsindex n långt från 1 och en liten absorption i det här området med lätthet kan erhållas. Däremot är optiska element som använder brytning i röntgenområdet svåra att framställa, då alla material i det energiområdet har ett brytningsindex n nära 1 och uppvisar stor absorption. Betrakta 30 en konkav materialbit vilken cirkulärt har roterats med en krökningsradie R . En sådan materialbit kommer att fokusera en plan våg som infaller parallellt med axeln på en brännvidd f .

Brännvidden ges av

$$f = \frac{R}{\delta} \quad (2)$$

- En lins framställd enligt ekvation 2 skulle ha en mycket stor brännvidd, då δ typiskt är 10^{-5} eller 10^{-6} i det hårda röntgenområdet. Exempel på sådana linser gavs av Suehiro *et al* (Nature 352 (1991), pp. 385-386). Genom en skrivelse av Michette (Nature 353 (1991), p. 510) ansågs detta tillvägagångssätt inte fungera för alla praktiska tillämpningar. Den omfattning till vilken brännvidden kan förkortas genom att minska R är begränsad genom tillverkningsteknik och praktisk användning.
- 10 En betydande förbättring uppnåddes när Snigirev m fl (Nature 384 (1996), pp. 49-51) gjorde N borrhål i en bit aluminium. Detta motsvarar $2N$ konkava ytor, vilket minskar brännvidden med samma faktor. Den totala brännvidden av den sammansatta linsen ges av

$$F = \frac{f}{2N} = \frac{R}{2\delta N} \quad (3)$$

15

Denna lins hade fortfarande sfärisk aberration och hög absorption och fokusering kunde endast uppnås i en dimension. Dessa nackdelar har tagits upp av flera författare. Liknande lösningar är kända genom US 5,594,773 och US 5,684,852.

- 20 Låg-Z-material har använts för minskad absorbering och tvådimensionell fokusering har uppnåtts genom, t ex Elleaume (Nucl. Instr. and Meth. A 412 (1998), pp. 483-506) genom att korsa två linjära strålar.

- En annan lins är beskriven i den amerikanska patentansökningen benämnd "A COMPOUND REFRACTIVE X-RAY LENS", vilken innefattar en ny tillverkningsteknik för att tillverka paraboliska profiler genom att dela linsen i två halvor vid symmetriaxeln, för att därmed reducera sfärisk aberration och absorption.
- 25

- Aberrationsfria sammansatta brytande röntgenlinser är emellertid fortfarande i beroende av
- 30 komplicerade och dyra tillverkningstekniker. Följaktligen passar sådana brytande linser inte i kommersiella tillämpningar. Vidare är sådana kända brytande linser begränsade till att generera

en energidistribution med en topp. Och en ytterligare nackdel med kända brytande linser är att de, för en given energi, har en fast brännpunkt, vilken inte kan varieras.

KORTFATTAD BESKRIVNING AV UPPFINNINGEN

- 5 Således finns ett behov av en brytande röntgenlins som passar kommersiella tillämpningar och vilken inte har de nackdelar som den kända linsen har. Det finns vidare ett behov av en brytande röntgenlins, vilken kan generera en dubbel energidistribution från en röntgenkälla. Ytterligare ett behov finns av en brytande röntgenlins för vilken brännvidden för en given energi lätt kan varieras. Ännu ett behov finns av en högenergiröntgenlins som kan generera en dubbel
- 10 energidistribution från en bredbandsröntgenkälla.

Ett ytterligare behov finns av en metod för att enkelt utforma en brytande röntgenlins till en låg kostnad, så att t ex högenergiröntgenteknik skulle kunna ta sig från applikationer inom specialiserad forskning till allmänna tillämpningar inom industriell och kommersiell utveckling.

15

Föreliggande uppfinning tillhandahåller en röntgenlins som passar bra i kommersiella applikationer. Föreliggande uppfinning åstadkommer också en metod för att enkelt utforma en sammansatt brytande röntgenlins. Föreliggande uppfinning åstadkommer vidare en brytande röntgenlins som kan generera en dubbel energidistribution från en bred röntgenenergikälla.

- 20 Vidare åstadkommer föreliggande uppfinning en brytande röntgenlins för vilken brännvidden för en given energi kan varieras. Föreliggande uppfinningen uppnår de ovanstående målen medelst en ny röntgenfokuseringsapparat, ny röntgenlinstillverkning och nya metoder för fokusering av röntgenstrålar.

- 25 Vidare har föreliggande uppfinning som mål att öka flödet på en scannad slits.

Därför innefattar den inledningsvis nämnda brytande anordningen för röntgenstrålar dessutom ett flertal väsentligen sågtandformade spår anordnade mellan sagda första och andra ändar på åtminstone en av sagda första och andra ytor. Sagda flertal spår är placerade så att

30 röntgenstrålarna, vilka upptas vid den första änden, passerar genom sagda del av låg-Z-material och sagda flertal spår, och kommer ut ur sagda andra ände, och bryts mot en brännpunkt.

Företrädesvis består delen av lågt Z-material av ett plastmaterial, speciellt en från gruppen innefattande polymetylmetakrylat, vinyl och PVC. Den kan också bestå av beryllium.

Företrädesvis har sagda spår formen av sågtänder med väsentligen raka urskärningar.

I en föredragen utföringsform har sagda flertal spår varierande storlekar, steglöst minskande eller ökande från den första änden mot den andra änden.

5

Den brytande röntgenlinsen enligt uppfinningen innefattar en volym av låg-Z-material, vilken volym har en första ände anordnad att uppta röntgenstrålar utsända från en röntgenkälla och en andra ände från vilken sagda röntgenstrålar upptagna vid den första änden kommer ut och första och andra ytor. Vidare innefattar volymen ett flertal väsentligen sågtandformade spår anordnade mellan första och andra ändarna på åtminstone en av åtminstone två ytor, vilka flertal spår är placerade så att sagda röntgenstrålar vilka upptas vid den första änden, passerar genom sagda volym av låg-Z-material och sagda flertal spår, och kommer ut från sagda andra ände, och bryts mot en brännpunkt.

10

15 I en föredragen utföringsform innefattar linsen två volymer anordnade så att ytorna med flertalet spår är placerade mot varandra. Företrädesvis har sagda två volymer vardera en lutningsvinkel mot en optisk axel i sagda röntgen. Volymernas brännpunkter sammanfaller inte.

20

Företrädesvis varierar en brännvidd hos de vardera två volymerna i linsen genom att varje lutningsvinkel enskilt varierar.

Volymer med låg-Z-material består av ett plastmaterial, speciellt en från gruppen innefattande polymetylmetakrylat, vinyl och PVC eller så består sagda volym med låg-Z-material av beryllium.

25

Vidare innefattas uppfinningen av ett röntgensystem och en metod för tvådimensionell fokusering av röntgenstrålar och inkluderande minst två linser enligt ovan. Fokuseringen uppnås genom att anordna sagda åtminstone två linser, så att varje röntgenstråle skär båda linserna efter varandra och att en av sagda minst två linser roteras runt en optisk axel med avseende på den andra linsen.

30

I en föredragen tillämpning kopplas sagda brytande lins till minst en andra kommersiell sammansatt brytande röntgenlins så att en båge av sammansatta brytande röntgenlinser bildas.

Metoden att tillverka den brytande röntgenlinsen med sågtandad profil kännetecknas av: att överföra spårformer till en bärare medelst en graveringsanordning, vilken tillverkar ett original, och att använda sagda original för att pressa spår i lämpligt material.

- 5 Dessa och andra fördelar med den föreliggande uppfinningen kommer utan tvivel att framgå väl för de med normal kunskap inom området efter genomläsning av de föredragna utföringsexemplen vilka illustreras i de olika ritningsfigurerna.

KORT BESKRIVNING AV RITNINGARNA

- 10 Föreliggande uppfinning kommer att framgå bättre ur de närslutna kraven och beskrivningen vilken i samband med ritningarna illustrerar några föredragna utföringsformer av uppfinningen. I ritningarna:

- 15 FIGUR 1 visar en schematisk perspektivvy av en brytande röntgenlins enligt en utföringsform av den föreliggande uppfinningen.

FIGUR 2 visar ett schematiskt snitt i perspektiv av en brytande röntgenlins med sågtandad profil enligt en andra utföringsform av den föreliggande uppfinningen.

- 20 FIGUR 3a visar schematiskt en sidvy av en brytande röntgenlins med sågtandad profil innefattande snittet i Figur 2.

- 25 FIGUR 3b är en imaginär projektion som visar den paraboliska linsformen som fås med den sågtandade formen.

FIGUR 4 visar en schematisk sidvy av en brytande röntgenlins enligt en andra utföringsform.

FIGUR 5 visar en sidvy av den endimensionella fokuseringsgeometrin av den brytande röntgenlinsen med sågtandad profil enligt utföringsformen visad i Figur 4.

- 30 FIGUR 6a och 6b visar sidvyn respektive toppvyn av andra utföringsformer.

GRUNDTEORI

I det följande tillämpas välkänd stråloptik på en sågtandad geometri. Tunnlinsapproximation utförs. Definitionerna är illustrerade i Fig. 7 som visar en väsentligen triangelformad sågtand.

5 Brytningslagen ger

$$\sin(\gamma + \alpha) = n \sin(\gamma + \alpha + \Delta\alpha) \quad (i)$$

Eftersom $\Delta\alpha$ är mycket liten och $\alpha \ll \gamma$, kan detta skrivas

$$10 \quad \sin(\gamma + \alpha) = n \sin(\gamma + \alpha) + n \cos(\gamma + \alpha) \Delta\alpha \quad (ii)$$

$$\Delta\alpha = \frac{(1-n) \sin(\gamma + \alpha)}{n \cos(\gamma + \alpha)} \approx \delta \tan(\gamma) = \frac{\delta}{\tan(\beta)} \quad (iii)$$

där $n=1-\delta$ och $\beta + \gamma = \pi/2$.

15 Efter passage genom N sågtänder kommer den totala vinkeln bli

$$\Delta\alpha_{tot} = 2N \delta / \tan(\beta) \quad (iv) \text{ (se också Fig. 8)}$$

Denna vinkel är så liten att det får antas att strålen kommer att skära linsen i en rät linje parallell med axeln. Geometrin ovan visar att

20

$$\Delta\alpha_{tot}(\gamma) = \frac{\gamma}{s_o} + \frac{\gamma}{s_i} \equiv \frac{\gamma}{f} \quad (v)$$

där f är den sammansatta linsens brännvidd.

Kombinationen av (iv) och (v) ger det antal tänder sedda av en stråle vid en sträcka y från axeln.

25

$$N(\gamma) = \frac{\tan(\beta) \Delta\alpha_{tot}}{2\delta} = \frac{\gamma \tan(\beta)}{2\delta f} \quad (vi)$$

Sträckan som en stråle måste ta sig för att nå en ytterligare tand kan beräknas från

$$y(N) = \frac{2N\delta f}{\tan(\beta)} \Rightarrow y(i) - y(i-1) = \frac{2\delta f}{\tan(\beta)} \quad (\text{vii})$$

och en ytterligare vägsträcka uppnås i materialet

$$x(y) = \frac{2y}{\tan(\beta)} \Rightarrow \Delta x = x(i) - x(i-1) = \frac{4\delta f}{\tan^2(\beta)} \quad (\text{viii})$$

Den totala vägsträckan fås genom summering av alla bidrag:

$$5 \quad X(y) = \Delta x(1 + 2 + \dots + N(y)) = \Delta x \frac{1}{2} [N(y)]^2 = \frac{4\delta f}{\tan^2(\beta)} \frac{1}{2} \left(\frac{y \tan \beta}{2\delta f} \right)^2 = \frac{y^2}{2\delta f} \quad (\text{ix})$$

Således visas det att vägsträckan som en funktion av y kommer att vara parabolisk. Om y är höjden av den första och största tanden, är krökningsradien $R = \delta f$. I verkligheten är den inte en kontinuerlig funktion eftersom ett bestämt antal sågtänder existerar, och parabolen kommer att uppskattas genom några få hundra raka linjer. Detta skulle kunna ge uppfattbara
10 aberrationseffekter i några tänkta tillämpningar. Effekten skulle emellertid vara liten och försumbar.

Betrakta fallet med en finit källa som är perfekt projicerad på en slit med storleken d . The attenuation length är betecknad λ . En stråle med lateral förflyttning y dämpas med en faktor:

$$15 \quad \exp\left(-\frac{X(y)}{\lambda}\right) = \exp\left(-\frac{y^2}{2\delta f\lambda}\right) \quad (\text{x})$$

Rms strålspridningen blir således

$$\sigma = \sqrt{\delta f\lambda} \quad (\text{xi})$$

Förstärkningen kommer att bli en produkt av den geometriska ökningen och överföringen
20 genom linsen.

$$G(y_d) = \frac{2y_d}{d_s} \frac{s_0 + s_l}{s_0} \frac{1}{y_d} \int_0^{y_d} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma^2}\right) dy$$

$$= \frac{2(1 + M_y)}{d_s} \frac{2}{\sqrt{\pi}} \frac{\sqrt{\pi}}{2} \int_0^{\frac{y_d}{\sqrt{2}\sigma}} \exp(-\xi^2) \sqrt{2}\sigma d\xi$$

$$= \frac{1 + M_y}{d_s} \sqrt{2\pi} \sigma \cdot \text{erf}\left(\frac{y_d}{\sqrt{2}\sigma}\right)$$

M_y är den laterala förstoringen och felfunktionen används:

$$\text{erf}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z \exp(-x^2) dx \quad (\text{xii})$$

- 5 Felfunktionen kommer att närma sig 1 när höjden ökas, och i den begränsande $y_d \rightarrow \infty$.

$$G_{\max} = \sqrt{2\pi} (1 + M_y) \frac{\sigma}{d_s} \quad (\text{xiii})$$

Detta är uppenbart en ofysikalisk gräns. Felfunktionen närmar sig emellertid 1 snabbt. Linsens längdtillväxt med kvadraten av y_d kommer inte att bidra mycket till en fast brännvidd. Eftersom längden bör hållas nere av praktiska och ekonomiska skäl.

10

Så snart geometrin och linsparametrarna är fastslagna, kommer systemet att optimeras för en enda energi. Att beräkna förstärkningen i det här fallet är inte lika enkelt. Antag att strålen från en punktkälla på den optiska axeln fokuseras vid $s_i + \Delta$, följer det att (med hänvisning till Figur 9)

15

$$\frac{1}{s_0} + \frac{1}{s_i + \Delta} = \frac{1}{f} \quad (\text{xiv})$$

$$\frac{d_s/2}{\Delta} = \frac{h}{s_i + \Delta} \quad (\text{xv})$$

Den maximala vinkeln en stråle klarar av horisontellt och fortfarande träffa slitsen är

$$\theta = \frac{h}{s_0} = \frac{d_s/2}{s_0 s_i} \frac{1}{\varepsilon} \quad (\text{xvi})$$

där

$$\varepsilon = \left| \frac{1}{s_0} + \frac{1}{s_i} - \frac{1}{f} \right| \quad (\text{xvii})$$

- 5 Det absoluta värdet gör förhållandet giltigt även om fokus ligger framför slitsen. Emellertid får h inte vara större än höjden på linsen, y_d , för då skulle strålen helt missa linsen. I frånvaro av linsen, blir fraktionen av röntgenstrålarna utsända av källan som ska träffa slitsen (normaliseringsfaktorn $1/2\pi$ försummas)

$$I_0 = \frac{d}{s_0 + s_i} \quad (\text{xviii})$$

- 10 Med linsen närvarande, men utan absorption av röntgenstrålarna, skulle denna ökas till $I_{\text{lins}} = \theta$ (ixx)

Om absorptionen inkluderas skulle flödet som faller på slitsen ges av en integral över en vinkel α av strålen från källan:

$$I_{\text{lins}}^{\text{abs}} = \int_{-\min(\theta, y_d/s_0)}^{\min(\theta, y_d/s_0)} \exp\left(-\frac{s_0^2 \alpha^2}{2\sigma^2}\right) d\alpha \quad (\text{xx})$$

- 15 Här görs en förenkling. Öppningen är begränsad antingen av θ eller av $y_d = s_0$. I det senare fallet blir integralen emellertid θ . Detta är en bra uppskattning eftersom strålar långt från den optiska axeln kommer att absorbers mer och bara ge ett litet bidrag till flödet.

$$I_{\text{lins}}^{\text{abs}} = \sqrt{2\pi} \sigma \frac{1}{s_0} \operatorname{erf}\left(\frac{\theta s_0}{\sqrt{2}\sigma}\right) = \sqrt{2\pi} \sigma \frac{1}{s_0} \operatorname{erf}\left(\frac{d_s}{2\sigma s_i \varepsilon \sqrt{2}}\right) \quad (\text{xxi})$$

Förstärkningen blir

$$20 \quad G(0) = I_{\text{lins}}^{\text{abs}} / I_0 = \sqrt{2\pi} \frac{s_0 + s_i}{s_i} \frac{\sigma}{d_s} \operatorname{erf}\left(\frac{d_s}{2\sqrt{2}\sigma \varepsilon s_i}\right) \quad (\text{xxii})$$

Nu antas att punktkällan är placerad vid y_s från den optiska axeln och en liknande geometrisk övning ger (om man bortser från de algebraiska detaljerna)

$$G(y_s) = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{s_0 + s_i}{s_0} \frac{\sigma}{d_s} \left[\operatorname{erf}\left(\frac{d_s}{2\sqrt{2}\sigma\epsilon s_i} + \frac{y_s}{2\sqrt{2}\sigma\epsilon s_0}\right) - \operatorname{erf}\left(-\frac{d_s}{2\sqrt{2}\sigma\epsilon s_i} + \frac{y_s}{2\sqrt{2}\sigma\epsilon s_0}\right) \right]$$

(xxiii)

5

Det är intressant att studera hur den maximala förstärkningen beror på materialegenskaperna hos linsen. Från ekvationerna xi och xiii fås

$$\text{Maximal förstärkning} \propto \sigma = \sqrt{f \delta \lambda} \quad (\text{xxiv})$$

10

och således bör $\delta \lambda$ maximeras. Dämpningslängden är en stark funktion av atomnumret och det är uppenbart att ett material med lägsta möjliga Z är ^{intressant} intresserat. I det här energiområdet är det en bra uppskattning att sätta $\delta \propto E^{-2}$ och en parametrisering av röntgentvärsnittet i barns ($\propto \frac{1}{2}$) är (från passande totabulerade värden)

$$24.15 Z^{4.2} E^{-9} + 0.56 Z \quad (\text{xxv})$$

där två termer Z ^{och} and E är foto respektive Compton-effekt, (E i keV). Sedan kan den optimala energin kalkyleras genom att använda:

$$d/dE (\delta \cdot \lambda) = 0 \Rightarrow E_{\text{opt}} = 2.78 Z^{1.07} \text{ keV} \quad (\text{xxvi})$$

20 För till exempel beryllium och PMMA, är de optimala energierna 12 keV respektive 19 keV. PVC med ett högre effektivt Z och därför lägre bidrag från Compton-spridningen har ett mycket högre optimum runt 48 keV. Medan PMMA är 3 gånger bättre än vinyl vid 18 keV, är det endast 84% bättre vid 40 keV. Detta på grund av hög Compton spridning vid höga energier för de mycket låga Z materialen.

25

DETALJERAD BESKRIVNING AV UTFÖRINGSFORMER

En brytande anordning, som kan användas som en lins i röntgentillämpningar är schematiskt illustrerad i Figur 1. Anordningen 100, hädanefter hänförd som lins, innefattar en volym som har en första ände 105, en andra ände 106 motsatt den första änden 105, och längsgående ytor

30 107-110. Inuti volymen är kaviteter 102 anordnade som sträcker sig väsentligen från den första ände 105 till den andra änden 106. Kaviteterna är anordnade så att den längsgående axeln i varje kavitett är väsentligen parallell med de första och andra ändar.

Varje kavitet 102 innefattar ett första (t ex övre) och ett andra (t ex undre) räffelformat spår 103 och 104, vilka konsekutivt formar en sågtandformad första (t ex övre) och en andra (t ex undre) linssektion 101. Teorin bakom utformningen av kaviteterna är beskriven ovan.

- 5 Under operationen är linsen anordnad att uppta röntgenstrålar, t ex genom den första änden 105, och röntgenstrålarna kommer, efter att de har brutits, ut från den andra änden 106.

Företrädesvis borde materialvolymen ha ett så lågt atomnummer som möjligt, t ex ett låg-Z-material; goda kandidater är t ex beryllium och plast såsom polymetylmetakrylat (PMMA).

10

I Figur 2 illustreras en sektion 201 (t ex en undre del) av en annan brytande röntgenlins med sågtandprofil enligt föreliggande uppfinning. Sågtandformade spår är anordnade på en yta 207 i sektionen medan den motsatta ytan 208 är slät. I den här utföringsformen varierar storleken på spårerna 203 genom att spårens djup linjärt minskas från en första ände 205 mot en andra ände 206 i volymen. I en föredragen utföringsform innefattar sektionen t ex ungefär 300 rakt utskurna spår med djup 211 linjärt minskande från runt 100 till 0 mikron och en bottenvinkel 212 på ungefär 90°. Detta ger en total längd på 30 mm. Bottenvinkeln är emellertid en fri parameter och kan optimeras med hänsyn till praktiska och tillverkningsmässiga krav. Sektionens bredd 213 kan varieras från mm till dm enligt kraven.

20

I en utföringsform är uppfinningen en delad brytande röntgenlins med sågtandad profil. Figur 3a visar ett snitt genom en utföringsform av linsen 300 innefattande två sektioner 201 enligt Figur 2. Den brytande röntgenlinsen med sågtandad profil innefattar två volymer 201 av låg-Z-material, placerade på motsatta sidor om den optiska axeln. Volymerna 201 av låg-Z-material bildar en första ände 305 som upptar röntgenstrålar, företrädesvis fås en kommersiellt tillämpbar energi utsänd från en kommersiell röntgenkälla. Från den motstående andra änden 306 kommer röntgenstrålarna ut. Ett antal spår är placerade så att röntgenstrålarna vilka upptas vid den första ytan, passerar genom volymen av låg-Z-material och genom nämnda antal spår. När detta görs bryts röntgenstrålarna från en enkel energi, som kommer fram, mot en enda brännpunkt. Om röntgenkällan sänder ut röntgenstrålar med varierande energi, kommer röntgenstrålarnas spektra som mottagits vid en enda brännpunkt att förbättras nära en unik energi.

30

Projektionen av mängden material som en röntgenstråle passerat, inkommande parallellt med den optiska axeln kommer att bilda en parabolisk profil, som illustreras i Figur 3b. I princip kan således den beskrivna geometrin ersättas med en enkel parabolisk yta, som ges av

$$x = \frac{y^2}{2R} \quad (4)$$

- 5 där R är krökningsradien och x och y är definierade i Figur 3a. Denna skulle emellertid vara extremt svår att tillverka. Man kan se på den föreliggande uppfinningen som en återdistribution av låg-Z-material för att underlätta tillverkning. Med geometrin beskriven ovan, $R = 0,167\text{m}$. Antag att det låga Z materialet är beryllium, för vilket $d = 8,5 \times 10^{-7}$ vid 20 keV. Detta kommer enligt ekvation 2 ge brännvidden $F = 195\text{mm}$ för 20 keV röntgenstrålar. Till skillnad från
- 10 brännvidder i meterområdet associerade med kända experimentella strålsfokuseringsanordningar för högenergiröntgen, uppnår den brytande röntgenlinsen med sågtandad profil 300 enligt föreliggande uppfinning en brännvidd i storleksordningen decimeter.

- I utföringsformen i Figur 4 innefattar linsen 400 två sektioner 401, i vilka alla spetsarna
- 15 (tänderna) 416 har samma storlek. Genom att vinkla delarna 401 något med avseende på de optiska axlarna 415, uppnås liknande fokuseringsegenskaper som i Figur 3. Spårens djup är t ex ungefär 100 mm. För att uppnå samma fokuseringsegenskaper som i föregående utföringsform behövs fortfarande 300 sågtänder, men den totala längden av den brytande linsen med sågtandad profil kommer att dubblas till 60 mm. Separationen 413 bör vara två gånger spårens
- 20 djup, t ex 200 mm. Detta skulle ge en lutningsvinkel ⁴⁰⁴414 på $0,1^\circ$. Dessa volymer av låg-Z-material kommer att vara väsentligen lättare att tillverka än andra geometrier. I den här utföringsformen är linsen en avstämbar brytande röntgenlins med sågtandad profil. Volymerna 401 av låg-Z-material som innefattar ett flertal rakt skurna spår, genom vilka röntgenstrålarna passerar, är var och en något vinklade i förhållande till den optiska axeln. Brännvidden kommer
- 25 att vara en funktion av den här vinkeln. Genom att variera vinkeln ⁴⁰⁴414, omvandlas brännpunkten för en given energi. Genom att alternativt variera vinkeln ⁴⁰⁴414, vid en fast punkt, kommer således energin vid vilken spektrat intensifieras att ändras.

Figur 5 visar en sidvy av en endimensionell fokuseringsgeometri av den brytande röntgenlinsen med sågtandad profil 500 enligt utföringsformen visad i Fig. 4. En divergent stråle från en källa S fokuseras till en linje vid brännpunkten P. Linsen enligt den här utföringsformen innefattar två halvor av brytande anordningar vilka är utformade med sågtänder på båda sidor av volymen istället för på endast en sida. Den här utformningen kan ytterligare förbättra fokuseringsegenskaperna hos linsen.

Figuren 6a och 6b visar sidvyn respektive toppvyn av en utföringsform i vilken två brytande linser med sågtande profiler 600a och 600b används för att uppnå tvådimensionell fokusering. Den andra brytande linsen med sågtandformad profil 600b roteras 90° runt den optiska axeln med avseende på den första 600a. En divergent stråle från källan S fokuseras till en punkt vid brännpunkten P.

I ännu en utföringsform (ej visad) tillhandahåller föreliggande uppfinning en metod för att erhålla en dubbel energidistribution från en röntgenkälla som använder en brytande lins med sågtandformad profil. I en sådan utföringsform innefattar den brytande röntgenlinsen med sågtandformad profil två volymer av låg-Z-material placerade på motsatta sidor om den optiska axeln. Volymer av låg-Z-material innefattar ett flertal rakt skurna spår genom vilka röntgenstrålarna kommer att passera. Vardera volym har en liten unik vinkel mot den optiska axeln. Genom att de två halvorna har olika vinklar, har vardera halvan en separat brännpunkt. Vid en given punkt på den optiska axeln kommer röntgenspektrat att ha intensifierats vid två separata energier och ger följaktligen en bimodal energidistribution.

Enligt en föredragen tillverkningsmetod för en lins enligt uppfinningen överförs spårens form till en bärare (t ex av plast) genom en graveringsanordning, innefattande en het graveringspets vilken styrs av en styranordning som överför spårens form till bäraren. Sedan tillverkas ett (metalliskt) original genom att använda bäraren. Originalen kan direkt eller genom fortsättningssteg användas för att göra pressformar för att pressa spåren på lämpligt material.

Den sågtandade linsen liknar följaktligen en vinylgrammofonskiva. En överslagsberäkning ger att spårlutning av en sådan skiva bör ligga runt $120 \mu\text{m}$ (10 cm vid 33 rpm i 25 min). För att få avkoppla vibrationsstorlekarna, bör bottenvinkeln vara 90° i stereoläget $d v s \beta$, definierad i "GRUNDTEORI"-delen, är 45° . Om det således inte skulle finnas några mellanrum mellan spåren skulle djupet vara $60 \mu\text{m}$. Mätningar utförda på en vinylskivas profil indikerade att

mellanrum tar upp halva ytan, vilket ger ett djup på endast 30 μm . Utskärningen är emellertid en flexibel process med många fria parametrar. Restriktionen är det 100 μm lacklager som finns på originalet som begränsar djupet till cirka 90 μm och följaktligen bredden till 180 μm . Ett original skars med ett djup på 90° utan mellanrum och en vinyl (PVC) pressades, från vilken en

5 60 mm lång sektion skars ut. Ytan med snitten verkar vara av ganska dålig kvalitet och förstärkningen bör inte förväntas vara optimala. Linshalvorna fastsattes till aluminiumstöd som justerades med mikrometerskruvar under ett mikroskop för att erhålla den rätta lutningsvinkeln. Med 180 μm separation vid änden, är krökningsradien $R = (90 \mu\text{m})^2 / (2 \Delta 300\text{mm}) = 0.135 \mu\text{m}$. Detta ger en brännvidd på 218 mm för 23 keV.

10

Ovannämnda metoder ges endast som exempel och andra metoder såsom diamanthörningstekniker, laserskärning etc kan också användas.

15

Linserna enligt uppfinningen kan användas i alla röntgentillämpningar, såsom mammografi, bendensitetsanalyser, tandanalyser etc.

20

Medan uppfinningen är beskriven i samband med föredragna utföringsformer, inses det att de inte är tänkta att begränsa uppfinningen till dessa utföringsformer. Däremot är uppfinningen tänkt att täcka alternativ, modifikationer och motsvarande, vilka kan innefattas inom ramen för uppfinningen så som den är definierad i de bifogade kraven.

PATENTKRAV

1. En brytande anordning för röntgenstrålar innefattande:

5 en del av (101, 201, 301, 401) av låg-Z-material, vilken del av låg-Z-material har en första ände (105, 205, 305) för att uppta röntgenstrålar utsända av en röntgenkälla och en andra ände (106, 206, 306) från vilken sagda röntgenstrålar upptagna vid den första änden (105, 205, 305) kommer ut, och första och andra ytor (207, 208),

kännetecknad av,

10 att den vidare innefattar ett flertal väsentligen sågtandformade spår (103, 104) placerade mellan de första och andra ändar (105, 205, 305; 106, 206, 306) på åtminstone en av de första och andra ytor (207, 208), vilka flertal spår är placerade så att röntgenstrålarna, vilka upptas av den första änden, passerar genom delen av låg-Z-material och sagda flertal spår, och kommer ut från den andra änden, och bryts mot en brännpunkt.

15 2. Anordningen enligt krav 1,

kännetecknad av,

att delen av låg-Z-material består av ett plastmaterial, speciellt ett från gruppen innefattande polymetylmetakrylat, vinyl och PVC.

20 3. Anordningen enligt krav 1,

kännetecknad av,

att delen av låg-Z-material består av beryllium.

4. Anordningen enligt något av de föregående kraven,

25 *kännetecknad av,*

att sagda spår är formade som sågtänder med väsentligen raka urskärningar.

5. Anordningen enligt något av de föregående kraven,

kännetecknad av,

30 att ett flertal spår har varierande storlekar, steglöst minskande eller ökande från den första änden mot den andra änden.

6. En brytande röntgenlins (100, 300, 400, 500, 600) innefattande:

35 en volym (101, 201, 301, 401) av låg-Z-material, vilken volym har en första ände (105, 205, 305) för att uppta röntgenstrålar utsända av en röntgenkälla och en andra ände (106, 206, 306) från vilken sagda röntgenstrålar upptagna vid den första änden (105, 205, 305) kommer ut, och

första och andra ytor (207, 208),

kännetecknad av,

att sagda volym vidare innefattar ett flertal väsentligen sågtandformade spår (103, 104)

placerade mellan sagda första och andra ändar (105, 205, 305; 106, 206, 306) på minst en av de

- 5 minst två ytorna (207, 208), vilka flertal spår är placerade så att röntgenstrålarna vilka upptas av den första änden, passerar genom delen av låg-Z-material och sagda flertal spår, och kommer ut från den andra änden, och bryts mot en brännpunkt.

7. Lins enligt krav 6,

- 10 *kännetecknad av,*

att linsen innefattar två volymer (101, 201, 301, 401) anordnade så att ytorna med flertalet spår är placerade mot varandra.

8. Lins enligt krav 7,

- 15 *kännetecknad av,*

att sagda två volymer vardera har en lutningsvinkel mot en optisk axel i sagda röntgen.

9. Lins enligt krav 7 or 8,

kännetecknad av,

- 20 att sagda volymers brännpunkter ej sammanfaller..

10. Lins enligt krav 8,

kännetecknad av,

att en brännvidd hos vardera av de två volymerna i linsen varierar genom att separat variera vardera lutningsvinkel.

25

11. Lins enligt något av de föregående kraven,

kännetecknad av,

att sagda volym av låg-Z-material består av ett plastmaterial, speciellt ett från gruppen

- 30 innefattande polymetylmetakrylat, vinyl och PVC.

12. Lins enligt något av kraven 8-10,

kännetecknad av,

att delen av låg-Z-material består av beryllium.

35

13. Ett röntgensystem för tvådimensionell fokusering av röntgenstrålar och inkluderande minst två linser enligt något av kraven 6 till 12,

kännetecknat av,

- 5 att fokuseringen uppnås genom att anordna sagda minst två linser (600a, 600b), så att varje röntgenstråle skär båda linserna i följd och att en av sagda minst två linser roteras runt en optisk axel med avseende på den andra linsen.

14. En metod för att erhålla tvådimensionell fokusering genom att använda två brytande röntgenlinser med sågtandformade profiler enligt kraven 6-12, så att varje röntgenstråle

- 10 kommer att skära båda i följd och så att den sagda andra brytande röntgenlinsen med sågtandformad profil roteras runt den optiska axeln med avseende på den första sagda brytande röntgenlinsen med sågtandformad profil.

15. Lins enligt krav 6,

- 15 *kännetecknad av,*

att sagda brytande lins kopplas till minst en andra kommersiell sammansatt brytande röntgenlins så att en båge av sammansatta brytande röntgenlinser bildas.

16. En metod för att erhålla en bimodal energidistribution från en röntgenkälla genom att

- 20 använda en brytande röntgenlins med sågtandformad profil enligt krav 6.

17. En metod för tillverkning av en brytande röntgenlins med sågtandformad profil

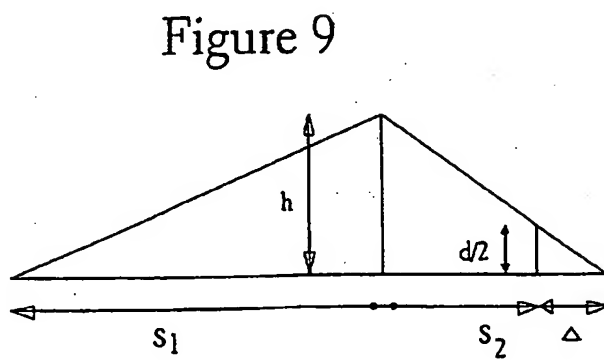
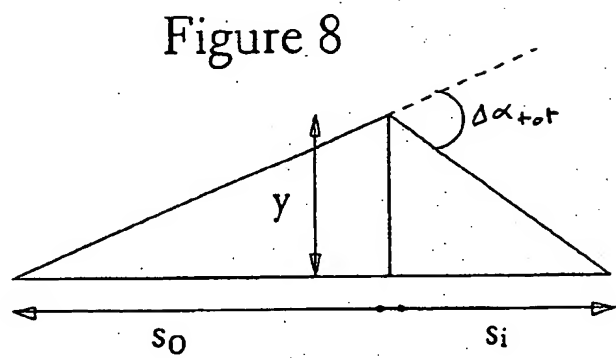
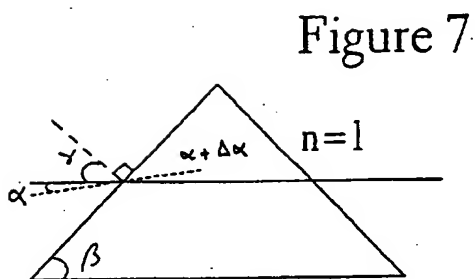
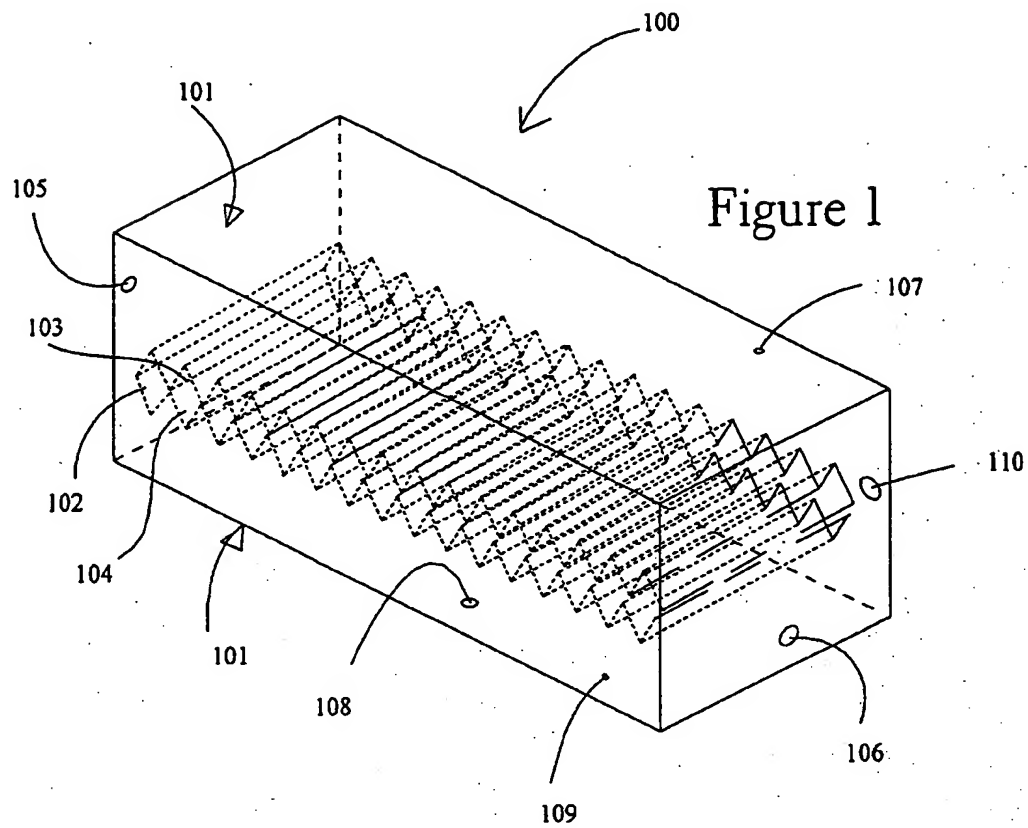
kännetecknad av,

- 25 - överföring av spårformerna till en bärare medelst en graveringsanordning,
- tillverkning av ett original, och
- användning av originalet för att pressa spår i lämpligt material.

18. Metoden enligt krav 17,

kännetecknad av,

- 30 att sagda material är vinyl eller PVC.



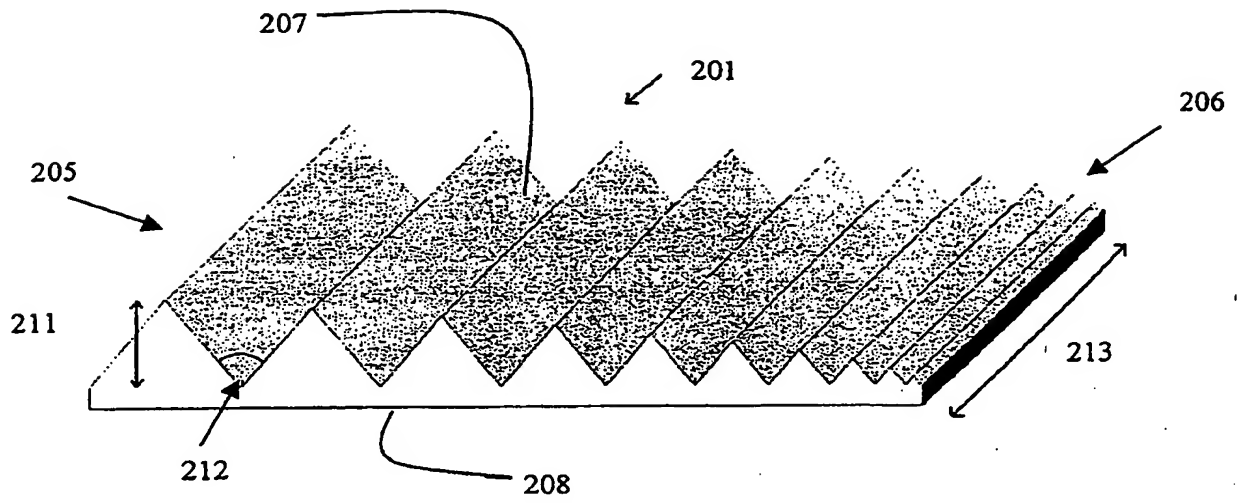


Figure 2

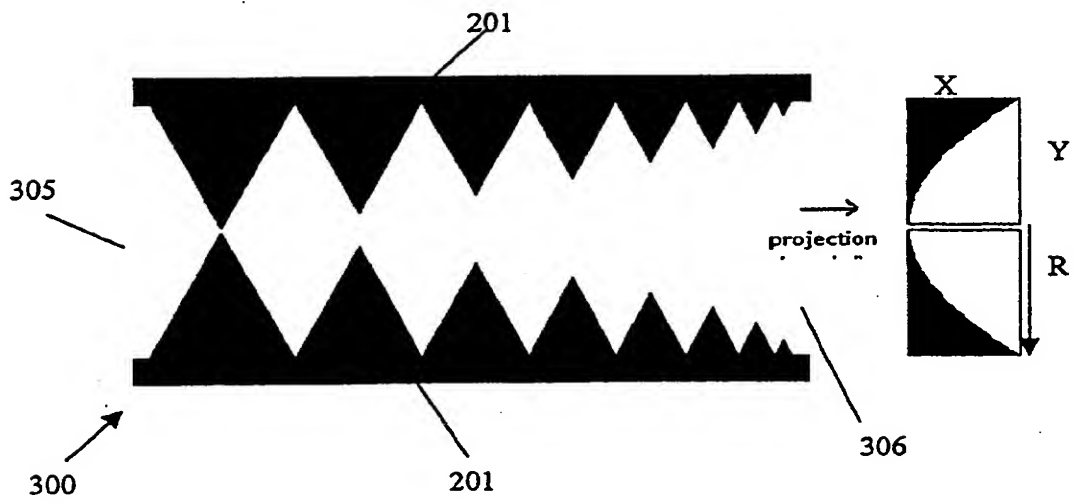


Figure 3a

Figure 3b

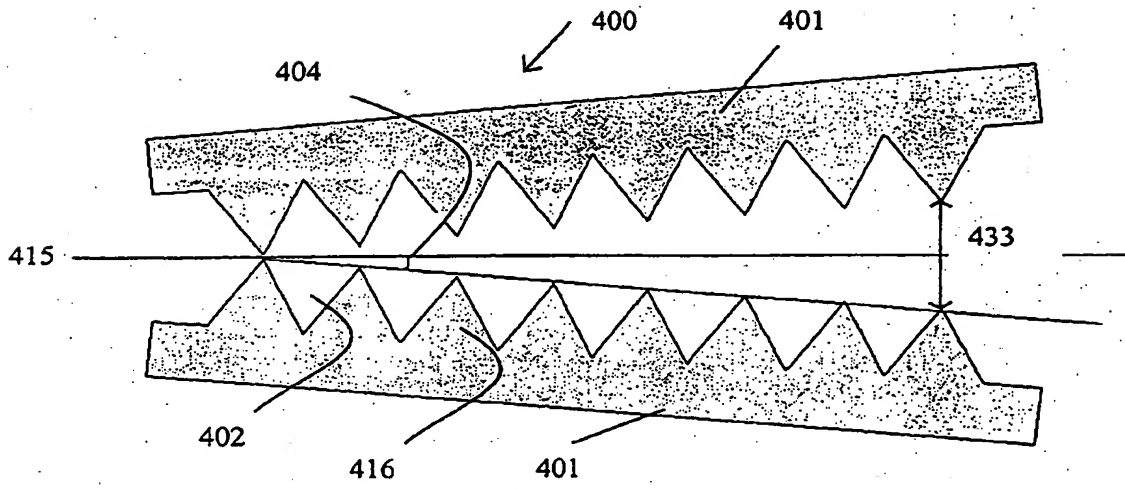


Figure 4

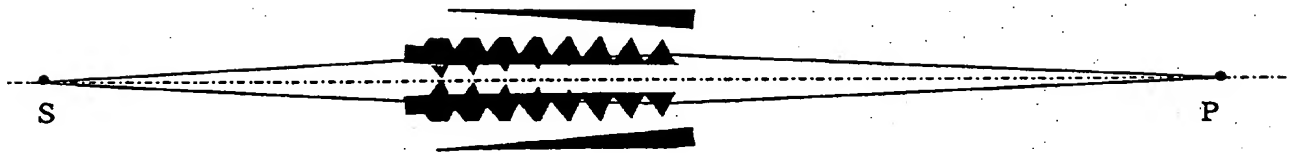


Figure 5

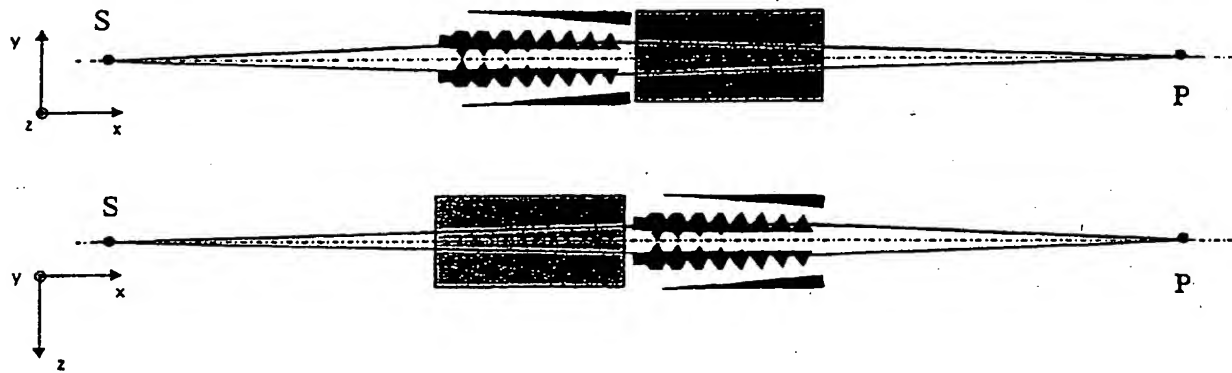


Figure 6a, 6b

This Page is inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☒ BLACK BORDERS

☒ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

☒ FADED TEXT OR DRAWING

☒ BLURED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

☐ SKEWED/SLANTED IMAGES

☐ COLORED OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

☐ GRAY SCALE DOCUMENTS

☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

☐ REPERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images
problems checked, please do not report the
problems to the IFW Image Problem Mailbox**